

要素技術は、必ずしもそのままの形態で利用する必要はなく、以下のような形態での利用も考えられる。

- (1) 新3D 音像再生技術だけの利用：AP (音像ブラネタリウム) 方式は、多数のスピーカの設置工事を必要とせず、筐体を移動するだけで所望の3D 音場を生成できる特長を有している。筆者らは残響感の制御のため、ドーム形状の実験空間を構築したが、しかるべき筐体配置と反射板設置が可能なら、AP技術はどのような部屋やホールでも利用できる。映像はまったく利用することなく、この新立体音響技術単独でも利用価値は高い。
- (2) 単純な映像+ AP音響での利用：もちろん、上記の映像投影が加わるのは充分有り得る形態である。映画館、講演会場等で、現在のマルチチャンネルステレオを置き換える技術にもなり得る。ある特定の領域(座席)に特定の音響信号を伝達できるので、同じ映像提示しながら、ゾーン毎に異なった言語の音声流すといった利用形態も考えられる。
- (3) Xドーム型MR映像+通常スピーカ：聴覚的にはAP方式でなく、通常の据置スピーカやヘッドホンで済ませる形態も有り得る実現形態である。壁面での音信号の反射を考慮しなくて良いのであれば、スクリーン面はドーム状である必要はなく、円筒状でも立方体状でも差し支えない。また、床面での吸音を要しないのなら、床をモーションベース駆動にすることで、映像と運動感覚の連携が強化できる。この種のMR空間体験は、テーマパーク・アトラクション、科学博物館、防災訓練施設等での利用が期待されている。

5. むすび

基盤研究として推進している「視聴覚併用複合現実空間」の現状に関して述べた。その中心となっている「音像ブラネタリウム法」の研究開発経過は順調に推移し、高音質化のための努力が実を結びつつある。大学では実用化のための結みに限界があるが、産業界からの関心が高いので、立体音響技術の手法として、そう遠くない将来、実用域に達することを期待している。

一方の視覚側は、壁面への単眼映像投影+両眼立体視による複合現実感提示という、従来にはない体験空間を実現している。従来のドームシアターとはまったく異なる用途での活用が期待できるので、そうした観点から、今後も関心を寄せて頂ければ幸甚である。

謝辞 音像ブラネタリウム方式の実現は本学・西浦敬信教授と西浦研究室の諸氏、MRシステムの実現と諸実験は柴田史久教授、橋口哲志助教と当研究室学生諸君の協力によるものである。本研究の最近の成果は、科研費・基盤研究(S)「複合現実型情報空間の表現力基盤強化と体系化」の支援による。

(2015年6月24日受付)

【文 献】

- 1) “特集：拡張現実感 (AR)”，情報処理，51，4 (2010)
- 2) “特集：新しい飛躍の時代を迎えた複合現実感”，日本VR学誌，15，2 (2010)
- 3) 比嘉恭太，西浦敬信，木村朝子，柴田史久，田村秀行：“視覚・聴覚の現実と仮想を融合する2×2方式複合現実感システムの実現”，VR学論誌，13，2，pp.227-237 (2008)
- 4) 村井嘉彦，深川亜美，木村朝子，柴田史久，田村秀行：“Rhythm of the Rain in 3D -視聴覚3D-MR空間の表現力を体験できる複合現実型アトラクション-”，第13回VR学大会論集，pp.560-563 (2008)
- 5) 杉林裕太郎，栗元総太，森勢将雅，西浦敬信，柴田史久，田村秀行：“壁面反射型オーディオスポットを用いた高臨場感3D音場提示手法の検討”，第15回VR学大会論集，pp.204-207 (2010)
- 6) Y. Sugibayashi, S. Kurimoto, D. Ikefuji, M. Morise and T. Nishiura: "Three-dimensional acoustic sound field reproduction based on hybrid combination of multiple parametric loudspeakers and electrodynamic subwoofer", Applied Acoustics, 73, 12, pp.1282-1288 (2012)
- 7) “特集：立体音響技術”，映像学誌，68，8 (2014)
- 8) 伊藤仁一，中山雅人，西浦敬信，木村朝子，柴田史久，田村秀行：“X-Media Galaxyにおける移動音像実現のための音像補間”，VR学論誌，18，3，pp.405-414 (2013)
- 9) 生藤大典，中山雅人，西浦敬信，山下洋一：“曲面型パラメトリックスピーカによる移動音像の構築”，音響学2014秋季発表会，pp.879-880 (2014)
- 10) 鈴木翔伍，杉山孝之，宮井貴史，木村朝子，柴田史久，田村秀行：“全天周型視聴覚複合現実体験空間とその基幹ソフトウェア”，信学技報，PRMU2011-261 (2012)
- 11) 小池龍正，橋口哲志，木村朝子，柴田史久，田村秀行：“極限作業模擬体験に適した複合現実空間の描画法”，2015信学総大，A-16-14 (2015)
- 12) 上原祐馬，木村朝子，柴田史久，田村秀行：“全天周型X-Media GalaxyにおけるCGの奥行き知覚の実験と考察”，2013信学総大，A-16-13 (2013)



田村 秀行 1970年，京都大学工学部電気工学科卒業。工業技術院電子技術総合研究所，キヤノン(株)等を経て，2003年より，立命館大学理工学部教授。現在，同大学総合科学技術研究機構教授。画像情報処理，マルチメディア，人工現実感の研究開発に従事。工学博士。正会員。



木村 朝子 1996年，大阪大学基礎工学部システム工学科卒業。1998年，同大学博士前期課程修了。同大学助手を経て，2003年，立命館大学理工学部助教。現在，同大学情報理工学部教授。実世界指向インタフェース，複合現実感，ハプティックインタフェースの研究に従事。博士(工学)。

5章 路面の振動を再現するVRスケートボード “VibroSkate”

関連動画
公開中!

清水ありさ[†]，日野綾香[†]，佐藤大貴[†]，江添正剛[†]，三武裕玄[†]，長谷川晶一[†]

キーワード：移動インタフェース，力触覚，振動触覚，自己運動感覚

1. まえがき

近年，振動触覚に関する研究が盛んに行われている。人間は物を叩いたり，物同士の衝突・摩擦等で生じたりした振動から物体の材質を感じ分けることが可能であり，この振動を再現することで材質感を伴う豊かなVR世界を実現できる。筆者らの研究室でも，物体を叩いた時の振動を，シミュレーションや近似波形を用いてVR世界に再現する研究を行っている。

筆者らも振動触覚に強い関心を持ち，振動触覚を応用した新たなVRシステムを実現したいと考えた。そこで，現実の体験で振動感が重要な役割を果たすものとして，スケートボードに注目した。スケートボードでは，タイヤが路面を転がる際にさまざまな振動が生じる。この振動を再現することで，リアリティのある路面の材質感や爽快感な滑走感を体験することができると考えた。こうして滑走時の振動を再現・提示するバーチャルスケートボードシミュレータ“VibroSkate”の着想に至った。

2. “VibroSkate”の体験と仕組み

VibroSkateのシステムは，振動スピーカを内蔵したスケートボード型デバイス，トレッドミル，および二面没入スクリーンで構成される(図1)。

体験者はスケートボード型デバイスに乗り，地面のかわりにトレッドミルを蹴って滑走する。弱い力で蹴るとゆっくり，強い力で蹴ると高速で滑走するほか，滑走中にトレッドミルを足で押さえてブレーキをかけることもできる。さらに，バーチャルスケートボードの滑走に合わせて，速度と路面の種類に応じた振動を足裏に感じることができる。

仕組みとしては，体験者がトレッドミルを蹴った力に基づいてバーチャル空間におけるスケートボードの移動速度を計算し，同じ速度でトレッドミルのベルトを回転させる。同時に，バーチャル世界内を移動する映像を没入スクリー



図1 “VibroSkate”システムの全体像

ンに表示する。これにより，現実のスケートボードと同様の移動感を提示している。

滑走時に地面から伝わる振動は，スケートボード型デバイスの裏側に配置したボディソニック用トランスデューサ(図2)から再生する。滑走速度に応じて周波数を適切に変えることで足裏への振動の面でも移動感や速度感を提示しており，また路面に応じて再生する振動の種類を変えることで材質感も表現している。トランスデューサからは振動のみではなく音も出るため，滑走速度や路面の材質に応じた音を聴きながら滑走することで，より没入感を得ることができる。

没入映像提示を正面と床面のスクリーンで行う構成のほか，広視野のヘッドマウントディスプレイ(Oculus VR社，Oculus Rift)を用いたシステムも実現した(図3)。スクリーンによる構成では，床面投影のためにプロジェクタを高所に固定したり，正面投影のためのプロジェクタの投影距離を充分にとる必要があるため，設置面積が大きくなっ

[†] 東京工業大学

“VibroSkate: VR Skateboard that Reproduce Vibration from Ground” by Arisa Shimizu, Ayaka Hino, Daiki Sato, Masataka Ezoe, Hironori Mitake and Shoichi Hasegawa (Tokyo Institute of Technology, Tokyo)

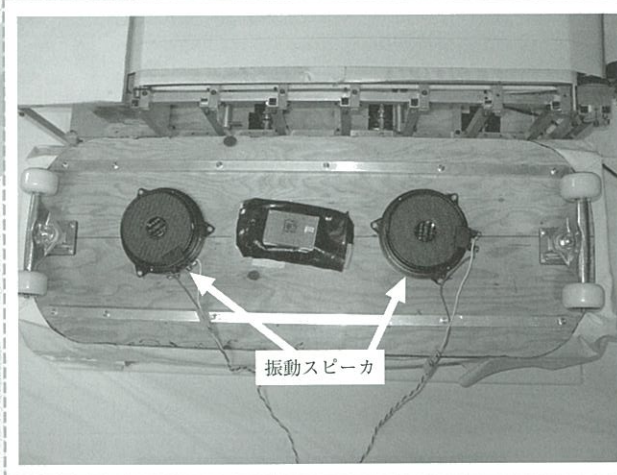


図2 スケートボード型デバイスの裏側



図3 HMD(Oculus Rift)を用いた構成

てしまったり設置が面倒になってしまうが、HMDを用いることでそれらの手間が省ける上、コンパクトな構成となる。またトレッドミルを含めた全体の構成が十分に小型となることからHMDであれば将来的に家庭での利用も見込めると考えられる。また、HMDでは周囲を見回すことができるようになるため、上述のスクリーンによる構成に比べさらに広範囲の没入映像を体験することができる。

一方、スクリーンによる構成ではHMDと比べ、機器を装着する手間がかからずより手軽に体験できることや、縦方向の視野角は現在用いているHMD(Oculus VR社、Oculus Rift)よりも広いこと、HMDのヘッドトラッキングの遅れ等による違和感や酔いがないことがメリットとしてあげられる。さらに、体験の様子を周囲の人が見る場合に、

HMDでは体験者とモニタ画面は別々に見ざるを得ないが、スクリーンであれば、体験者が滑走している様子とバーチャル世界の様子を同時に見て楽しむことができる。以上のような、スクリーン・HMDそれぞれのメリットやデメリットを考慮するとスクリーンはアミューズメント施設等向け、HMDは家庭向けのように使い分けるとよいのではないかと筆者らは考えている。

3. 製作の過程

VibroSkateは、学生が新たなVRシステムを企画・製作し競い合うコンテストであるIVRC(国際学生対抗バーチャルリアリティコンテスト)の2014年度参加作品として、学生主導で製作したものである。ここでは、その製作過程について紹介する。

IVRC2014では、書類審査、プレゼンテーション審査、予選大会、決勝大会という過程があった。プレゼンテーション審査に先立ち、筆者らは振動触覚がスケートボードの滑走感の再現に有効であることを確かめるため、まずは小型の試作機を製作した。試作機では小型のフルレンジ音響スピーカを用い、現実のスケートボードより振動は弱いものの路面の材質感を感じることができた。

その後のプレゼンテーション審査において、審査員の方にボディソニック用のトランスデューサを用いることを提案していただいた。これがきっかけとなり、本番用の実機製作ではボディソニック用のトランスデューサを用いることとなった。

VibroSkateにおいてトランスデューサから再生する振動は、本物のスケートボードに録音機構を搭載し、実際に路面を走ってサンプリングした振動である。大学キャンパス内のさまざまな地面に赴き、人に押してもらって滑走しながら振動のサンプリングを行った(図4)。

続く予選大会では、製作した実機を展示し多くの方に体験していただいた(図5)。展示にはVRの専門家を含む約400人の来場者があり、決勝戦に向けての改善点など有益な指摘を多くいただいた。

例えば、予選大会の時点ではスクリーンの高さが低く、目線の位置よりも映像が下になってしまい、没入感が得られないと指摘された。前面と床面の映像の間の広い隙間も没入感を阻害していた。

また、現実世界では地面であるトレッドミルのベルトの色が黒というのは、投影面としては不自然であるとの指摘や、スケートボードという爽快感を得られるスポーツのはずが、コースの大部分が曲がっているなど、初級者には難しく設計されており、すぐに壁にぶつかってしまって不満が溜まってしまうとの意見も得られた。さらに、スケートボードとトレッドミルの高さが同じということは現実世界ではあり得ないので、スケートボードを高くするなどした方がよいといった指摘もあった。



図4 録音の様子

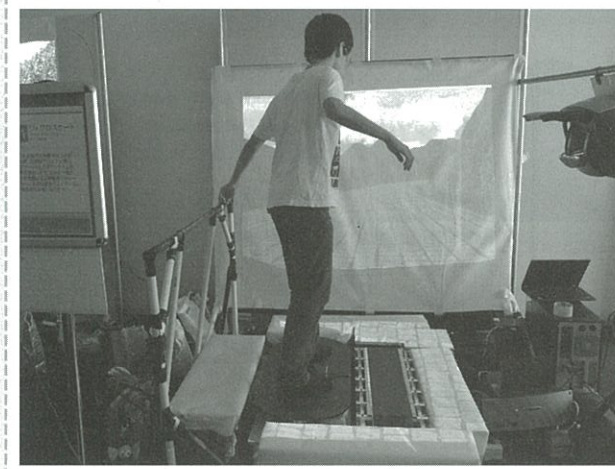


図5 予選での体験の様子

これらの指摘をうけ、決勝大会に向けた改善を行った。前面スクリーンを大型化し、前面と床面の映像の継ぎ目をなくした。スクリーン設置用の骨組みにより強靱なものを設計し、外光で投影を邪魔されないよう全体を暗幕で覆う構造とした。トレッドミルのベルトの色は黒から白に変更し、ベルトにも路面の映像を投影するようにした。また、スケートボードとトレッドミルの高さの差は、実際にスケートボードに乗り地面を蹴るときの高さと近くなるようにした。スケートボード型デバイス自体は、特に改善は行わなかった。また、コースは予選大会から一新し、直線を中心に多少の曲道を加えた幅の広いコースとした。また予選大会で要望の多かった高低差を実装しジャンプ台や下り坂といった要素も加えた。特にジャンプ台では、それまで速度によって変化していた振動がジャンプした瞬間に消失することで、視覚による効果と併せてあたかも宙に投げ出された感覚を提示することが可能となった。爽快感を損ね

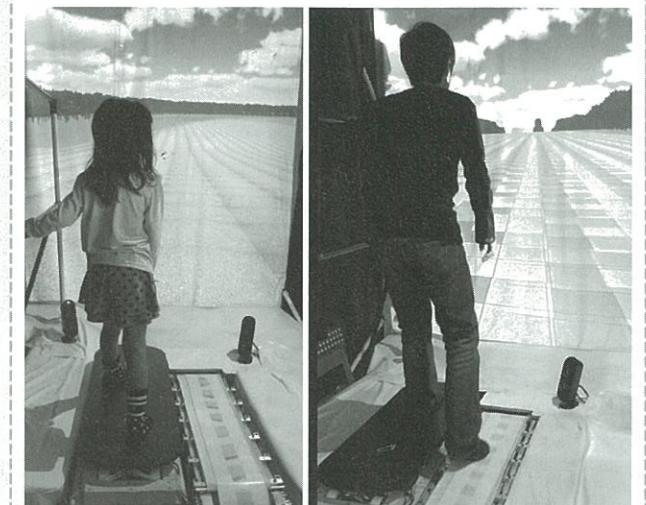


図6 決勝での体験の様子

ないように体験してもらうことが一つのポイントとなっていたが、町並みの中を走る以上両脇には壁が必要だったので、衝突した際には反発して元の速度で道路の進路の方を向くようにし、速度感を損ねないようにした。また町並みとスケートボードのスケール比やスケートボードの速度、床面の摩擦係数などをすべて実際のものに近づけた値にすると、ベルトを蹴った時に爽快感を感じられなかったので、実際のスケートボードに比べて移動速度を大きめにするなど、実際に体験しながら快適に装置が体験できるパラメータを模索し、調節を行った。

4. 展示の様子

4.1 IVRC 決勝大会

IVRC 決勝大会は2014年10月23日(木)～26日(日)の4日間、日本科学未来館で開催された。コンテストの審査員だけでなく、VR関係者や一般の方も数多く来場し、開催期間中全体で約1,800人の来場者があった。来場者は老若男女さまざまであった。

VibroSkateの体験展示では特に年齢制限等は設けず、大人も子供も体験可能とした(図6)。ただし、トレッドミルを蹴ることができそうにない幼児には安全のため、トレッドミルを蹴らなくても画面が動くように操作を展示員が行い、体験者には板の上に乗ってもらい足からの振動を感じてもらうにとどめた。また、実際のスケートボードでは両手はフリーな状態で滑走するが、バランスを崩すなどで事故に繋がらないように、VibroSkateの体験では必ず設置されたボールを握り続けてもらうようにした。

実際に体験した方からはさまざまな意見が得られた。まず、多くの体験者がバーチャル世界における地面の種類が変化すると、足裏に伝わってくる振動も変化しているということに気が付いていた。このことから、足裏からの感覚は知覚しやすく、誰にとってもわかりやすい振動感覚で

あったことが伺える。また、このシステムでは実際のスケートボードのように本当に地面を滑走しているわけではないが、足裏からの振動情報に加え、前面と床のスクリーンの効果によって、あたかも現実には滑走しているかのような爽快感や疾走感を覚えたとの意見もあった。他にも、実際にトレッドミルを蹴って、速度を自分で入力し、バーチャル世界を滑走することができるという所が面白く、アミューズメント施設にも設置して欲しいなど、好意的な意見があった。

一方で、スケートボード経験者からは、足から伝わってくる振動が弱いということや、トレッドミルを蹴ったときの力とバーチャル世界で動いている移動量が噛み合っていないので、自分の入力しているトレッドミルの速度がよくわからない、などの指摘を受けた。これは、振動を出していたスピーカアンプの出力不足や、爽快感を重視して現実より高速に疾走するよう設定していたことが原因であると考えられる。その他、スケートボードの十分な経験者からはサスペンションが弱いとの意見もあった。また、VR関係者の方からは、アミューズメント施設に設置されているゲームを参考にコース作りを行うと、コンテンツとしてさらに改善されるだろうとの提案をいただいた。

4.2 ディスカバリーラボ ISHIKAWA 2014

2014年11月8日(土)～9日(日)の2日にわたって開催された、ディスカバリーラボ ISHIKAWA 2014というイベントでも展示を行った。IVRC決勝大会よりも来場者が多く、主に家族連れの方が来られていたので、ほとんどの体験者が未成年の子供たちであった。子供たちはブースに駆け寄ってくると、どんな体験ができるのかに興味津々な様子で聞いてきて、楽しそうに体験していった。また、子供たちからはどのように作ったのかなどの質問が寄せられたことや、体験が非常に面白かったのもう1回体験してみたいと言っていたことが印象的であった。VibroSkateは大人だけでなく子供たちにとっても、直感的で体験しやすく大きな楽しみの得られるものであったと言えるだろう。

5. むすび

以上、滑走時の足への振動を再現するスケートボードシミュレータ VibroSkateについて、製作から展示の様子までを紹介した。最後に、今後の取組みについて述べておきたい。

将来的には一般の方からの意見でもあったように、ア

ミューズメント施設に導入するなど、エンタテインメント用途に使いたいと考えている。また、現在は架空の街並みを滑走するコンテンツとなっているが、現実の街並みを滑走できるようにしたり、逆に現実ではありえない場所を滑走できるようにするなど、豊富なコンテンツ開発を行いたいと考えている。

(2015年5月28日受付)



清水ありさ 2014年、横浜国立大学工学部知能物理工学科卒業。現在、東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻修士課程在学中。バーチャルヒューマンの動作生成に関する研究に従事。



日野 綾香 2014年、東京女子大学数理学科情報理学専攻卒業。現在、東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻修士課程在学中。物理シミュレーションに関する研究に従事。



佐藤 大貴 2015年、東京工業大学工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻修士課程在学中。エンタテインメントロボットのための小型静粛な減速機構の研究に従事。



江添 正剛 2014年、東京工業大学工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻修士課程在学中。筋骨格に基づいたバーチャルなデッサン人形の研究に従事。

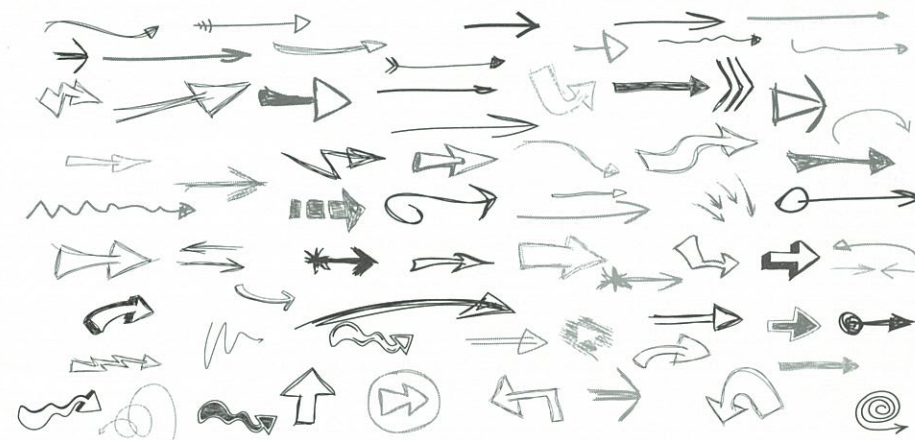


三武 裕玄 2006年、東京工業大学工学部情報工学科卒業。2008年、同大学大学院知能システム科学専攻修士課程修了。同年、日本学術振興会特別研究員。2011年、同専攻博士課程修了。同年、東京工業大学精密工学研究所助教となり、現在に至る。バーチャルクリーチャ、バーチャルヒューマンの研究に従事。工学博士。



長谷川晶一 1997年、東京工業大学工学部電気電子工学科卒業。1999年、同大学大学院知能システム科学専攻修士課程修了。同年、ソニー(株)入社。2000年、東京工業大学精密工学研究所助手。2007年、電気通信大学知能機械工学科准教授。2010年、東京工業大学精密工学研究所准教授となり、現在に至る。バーチャルリアリティ、力覚インタフェース、ヒューマンインタフェースの研究に従事。工学博士。

映像情報メディアの アクセシビリティ



2006年12月13日の第61回国連総会において採択された障害者権利条約 (Convention on the Rights of Persons with Disabilities) が、2013年12月4日に参議院本会議の審議を受けて日本でも批准され、各種情報へのアクセシビリティに対する関心が、日本でもようやく高まりつつあります。一方で、急速な高齢化社会を迎えている日本では、アクセシビリティは障がい者だけの問題ではなく、誰にとっても重要な喫緊に解決すべき課題ともなっています。

そこで、本特集では、映像情報メディアにおけるアクセシビリティ実現の重要性と課題、実際に行われている映像情報に対する手話・字幕サービスの現状と課題、これからの字幕放送のあり方と課題、並びに国際標準化動向を、それぞれのご専門の方々にわかりやすく解説して頂きます。お忙しい中、ご執筆をお引き受け頂きました著者の皆様に厚く御礼申し上げます。

なお、本特集の企画は、笹井寿郎編集幹事、佐藤 真編集幹事と私が担当いたしました。